RESEARCH PAPER

Effet du stress salin sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de l'*Acacia albida*

Effect of salt stress on morphology, physiology and biochemistry of Acacia albida

S. Karoune[1], M.S.A. Kechebar[1], Y. Halis[1], A. Djellouli[1] et C. Rahmoune[2]

1. Division Bioressources , Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA), Biskra, Algérie.
2. Laboratoire d'écotoxicologie et stress abiotiques. Université Mentouri de Constantine. Algérie.

Received 13 October 2016; Revised 25 December 2016; Accepted 27 December 2016

Résumé

Partant d'observations relatives au comportement des semences d'Acacia albida en milieu salé (in situ), le présent travail consiste en une expérimentation concernant la réponse morphologique, physiologique et biochimique des plants d'Acacia albida sous différentes doses de sel (0, 50, 100, 200 et 300 mM). L'application du stress salin a duré trois mois et a été faite sur des plants âgés de 06 mois où la démarche consiste à déterminer plusieurs paramètres tels que la croissance (longueur des tiges et racines, poids frais et poids sec), l'hydratation des tissus, la nutrition minérale (teneurs en Na+ et K+) et les teneurs en chlorophylles et caroténoïdes. Les résultats obtenus ont indiqué que les doses modérées de sel (50 mM) n'affectent pas la croissance en longueur et la biomasse des plants et que ces derniers parviennent à garder une hydratation semblable à celle des plants témoins même sous des concentrations de 100 mM. La salinité fait accroitre la teneur en Na+ au dépens de K+ surtout dans les parties aériennes ce qui engendre une diminution du rapport de sélectivité Na+/K+.

Mots-clés: Acacia, stress, salinité, morphologie, physiologie, biochimie.

Abstract

Starting from observations concerning the behavior of Acacia albida seeds in salty environment, this work consist of an experiment concerning morphological, physiological and biochemical responses of Acacia albida plants under different salt doses (0, 50, 100, 200 and 300 mM). The application of salt stress lasted three months and was done on old plants of 06 months in which the process is to determine several parameters such as growth (stems and root length, fresh weight and dry weight), hydration fabrics, mineral nutrition (contents of Na+ and K+) and the chlorophyll and carotenoids. The results lead us to say that moderate doses of salt (50 mM) did not affect the length growth and biomass of plants and those they manage to keep a hydration similar to that of control plants even in concentrations 100 mM. The salinity is increasing the Na + to K + costs especially in shoots which causes a decrease in the selectivity ratio Na + / K +.

Keywords: *Acacia, stress, salinity, morphology, physiology, biochemistry.*

Corresponding author

S. Karoune
E-mail: karounesamira@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

La salinisation est le processus majeur de la dégradation des terres dans le monde (Mermoud 2006). Dans les zones arides, la salinité constitue une contrainte majeure à la productivité agricole (Abdel Latef 2010). Actuellement, sur 1.5 milliard d'hectares de terre cultivée dans le monde, environ 77 millions d'hectares (5%) sont affectés par le problème de salinisation des sols (Sheng et al. 2008). Ce chiffre ne cesse d'augmenter d'une année à l'autre à cause de la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation (Villa-Castorena et al. 2003), à l'intensification des cultures (Ghassemi et al. 1995) et à l'utilisation abusive des fertilisants chimiques pour plusieurs espèces cultivées (Shannon &Grieve1999).

L'Algérie n'échappe pas à ce phénomène et la sécheresse prolongée a conduit à une salinisation de 3.2 millions d'hectares de terres (Benmahioul et al. 2009).

Pour pallier cette contrainte environnementale, diverses stratégies peuvent être adoptées, tel que l'application des techniques de drainage des sels en excès. Cependant, ces méthodes sont très coûteuses et exigent un volume d'eau important pour lessiver ces sels (Rhodes &Laveday 1990). De ce fait, l'introduction d'espèces végétales tolérantes aux stress abiotiques et de haute valeur socio-économique, constitue une des approches pour réhabiliter les sols salins. Le choix idéal d'une végétation appropriée à ces conditions, constitue la première étape pour résoudre le problème de la salinité.

Les effets du sel sur les plantes dépendent à la fois de leur stade de développement (Munns et al. 1995), de l'espèce, du cultivar, du génotype (Cornillon &Palloix1997) et de la durée de l'exposition aux contraintes salines (Munns &Termaat1986). Une forte concentration enNaCl dans le sol est perçue par certaines plantes comme une sécheresse physiologique. Ce changement dans le statut hydrique de la plante serait la cause initiale de la réduction de la croissance induisant son atrophie et la baisse de sa productivité (Parida&Das 2005).

Munns & Tester (2008) ; ont rapporté que la réduction de la croissance de la plante est due aux diminutions du potentiel osmotique dans le sol, de la conductance stomatique ; de la photosynthèse et aussi à l'augmentation de la concentration des ions Na^+ et Cl^-, qui atteignent des niveaux toxiques pour la plante. En effet, la salinité est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en interférant avec le prélèvement de certains éléments essentiels comme le potassium et le calcium (Zid& Grignon 1991). De plus, l'augmentation de NaCl diminue l'absorption du potassium et du calcium et interfère avec leurs fonctions physiologiques (Zhu 2002).

A travers cette étude nous nous attacherons à suivre l'impact du stress salin sur la croissance, le comportement nutritionnel et hydrique des plants d'*Acacia albida* en raison du peu d'études menées sur cette espèce.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Culture et application du stress salin

Les graines sonts emées directement en sachet de polyéthylène contenant un mélange SOL-SABLE sous serre (T= 25C °). Après six mois de croissance les plants sont répartis en cinq lots et irriguées à l'aide de l'eau additionnée de différentes doses de chlorure de sodium (NaCl) comme suit : 0, 50, 100, 200 et 300 mM. L'application du stress salin a duré trois mois.

2.2. Récoltes initiale et finale

Au cours de la culture sous serre, deux récoltes sont effectuées: une première récolte, dite initiale, vise à caractériser l'état des plantes avant le traitement salin. Une seconde récolte, dite finale, permet de déterminer les effets du traitement sur les plantes. A la récolte (initiale et/ou finale), les plantes sont fractionnées en parties aériennes et racinaires. Ces organes sont rincés dans trois bains successifs d'eau distillée puis essorés et séchés avec du papier filtre.

Les longueurs des parties aériennes et racinaires sont immédiatement mesurées. Par la suite, ces organes sont mis dans des sachets en aluminium préalablement tarés puis pesés, à l'aide d'une balance de précision de type Mettler AE 200, avant et après dessiccation à l'étuve à 60°C pendant 72 heures. Les échantillons, une fois séchés, sont broyés en poudre fine au moyen d'un broyeur à lame.

2.3. Paramètres morphologiques mesurés lors de la croissance

2.3.1. Hauteur de la tige

Nous avons mesuré la hauteur de la tige depuis le ras du sol jusqu'à l'apex, à l'aide d'unerègle graduée. La mesure est faite une foi par semaine.

2.3.2. Longueur des racines

A la fin de l'expérimentation, et à l'aide d'une règle graduée, nous avons mesuré la longueur des racines.

2.3.3. La croissance moyenne relative

La croissance Moyenne Relative (C.M.R) correspond à la production de biomasse par unité de temps et par unité de matière sèche entre deux prélèvements aux jours T1 et T2, elle est calculée comme suit :

CMR = Δ MS/MS moyenne*(T1-T2)

Δ MS=MS2 – MS1: c'est la variation de MS entre T1 (récolte de départ) et T2 (récolte finale).

MS moyenne= (MS2 - MS1) / Ln (MS2 / MS1) (moyenne logarithmique) ;

2.3.4. Biomasses aérienne et racinaire

A la fin de l'expérimentation les plants sont dépotés soigneusement, pour garder lemaximum de masse racinaire, on lave la partie racinaire pour éliminer les particulesindésirables. La partie aérienne est séparée du système racinaire à l'aide d'une lame auniveau du collet.

- **Poids frais.** On pèse la partie aérienne puis la partie racinaire à l'aide d'une balance de précision (1/100).
- **Poids sec.** Le poids sec est déterminé après passage à l'étuve à 60°C pendant 72 heures.

2.4. Paramètres biochimiques et physiologiques mesurés lors de la croissance

2.4.1. La teneur en eau

La teneur en eau est calculée par la différence entre la masse de matière fraîche (MF) et celle de matière sèche (MS) sur la matière sèche. Cette teneur est exprimée en ml.g-1 MS et elle est déterminée selon la formule suivante :

Teneur en eau = (MF-MS) / MS

2.4.2. L'indice de sensibilité (IS).

Il correspond à l'écart de production de la MS entre les plantes traitées et témoins, ramené à la masse de ces dernières. Il est calculé par le rapport suivant :

IS=100 * (MS NaCl - MS témoin) / MS témoin

Une valeur négative de ce paramètre traduit une inhibition de la croissance par le stress salin. Par contre, la stimulation de la croissance se traduit par des valeurs positives de l'indice de sensibilité.

2.4.3. Extraction et dosage des chlorophylles

L'extraction des pigments photosynthétiques est faite en présence d'acétone à 80% selon la méthode d'Arnon (1949). Les teneurs des feuilles en pigments sont alors déterminées en se référant aux formules suivantes (Lichtenthaler 1987) :

- Chlorophylles a (µg/ml) = (12,7 * DO663) – (2,69 * DO647)

- Chlorophylles b (µg/ml) = (22,9 * DO647) – (4,68 * DO663)

- Chlorophylles totales (µg/ml)= (Chlorophylles a – Chlorophylles b)

- Caroténoïdes (µg/ml) = (5 * DO470) + (2,846 * DO663) – (14,876 * DO647)

2.4.4. Extraction et dosage des éléments Na^+ et K^+

Des quantités connues de poudre végétale (20 mg) sont mises dans des piluliers en présence de 50 ml d'acide nitrique (HNO3, 0,5%). Les extraits sont ensuite filtrés sur papier filtre sans cendres et le dosage des éléments minéraux est fait par photométrie de flamme. Par la suite la sélectivité K^+/Na^+ a été estimée en comparant les rapports K^+/Na^+ calculés dans les parties aériennes et racinaires.

3. RESULTATS

3.1. Effet de la salinité sur la longueur des plants

D'après la figure.01, nous constatons que l'évolution de la longueur est inverssement proportionnelle aux différentes doses de sel appliquées.

Pour la partie aérienne, il n'y a pas de différence significative entre le témoin et les plants irrigués avec une dose de 50 mM. La croissance des tiges est affectée à partir d'une dose de 100 mM où nous avons noté une diminution de 29 % par rapport au témoin. A 200 et 300 mM, la diminution est de 39.7 et 42.4% respectivement.

Concernant la longueur des racines, nous avons observé la même tendance que pour la partie aérienne.

L'impact de la salinité est plus remarquable sur la croissance des racines, car pour les traitements 200 et 300 mM, nous avons enregistré une diminution de longueur de 39.1 et 44.9 %, respectivement.

3.2. Effet de la salinité sur le poids sec

L'analyse de la figure.02 permet de constater que l'évolution de la matière sèche de la partie aérienne des plants de l'*Acacia albida* est inversement proportionnelle à la concentration saline. Pour le témoin et

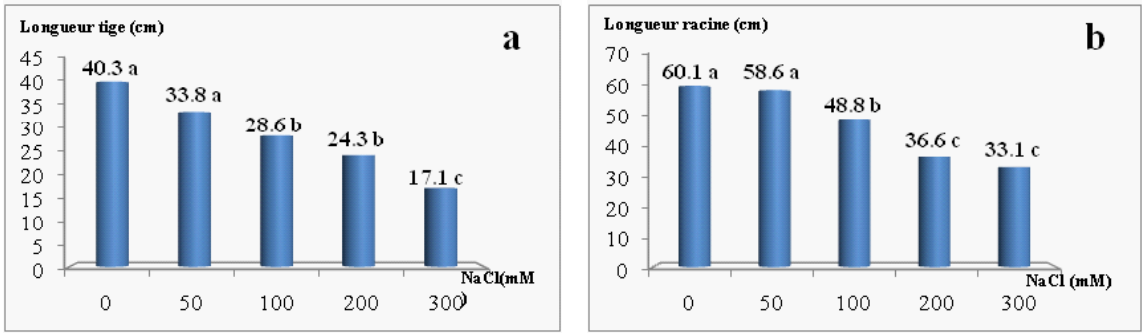

Figure 01 : Effet des différentes doses de sel sur la longueur des tiges (a) et des racines (b) des plants d'Acacia albida(les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%)

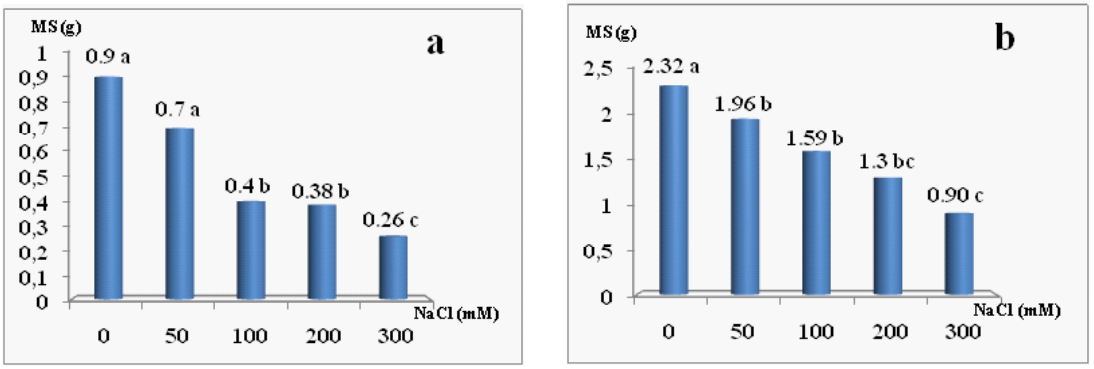

Figure 02 : Impact des différentes concentrations de sel sur le poids sec de la partie aérienne (a) et racinaire (b) des plants d'Acacia albida(Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

le traitement à 50 mM, les poids secs correspondent à 0.9 et 0.7 g respectivement. L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative entre ces deux traitements. Au-delà de 50 mM, la différence devient significative

L'impact de la salinité sur le poids sec des racines suit la même tendance que dans la partie aérienne, cependant la différence est significative dès le traitement à 50 mM où le poids est estimé à 1.96 g contre 2.32 g pour le témoin.

3.3. Effet de la salinité sur la teneur en eau

La figure.03 exprime les résultats de l'hydratation des tissus de la partie aérienne des plants en fonction de la salinité. L'hydratation des tissus du témoin et des traitements à 50 et 100 mM est statistiquement semblable. Pour les deux traitements 200 et 300 mM, la teneur en eau diminue jusqu'à 0.6 ml/g MS. De ce fait, l'impact de la salinité est plus prononcé et l'hydratation devient de plus en plus difficile. En comparaison avec le témoin il y a eu une perte de plus de 64 % d'eau.

Contrairement aux parties aériennes, les racines des plants de l'*Acacia albida* sont moins sensibles à l'alimentation en eau sous l'effet du stress salin. Le témoin exhibe une teneur de l'ordre de 0.45 ml/g MS, pour les autres traitements les teneurs varies de 0.38 à 0.57 ml/g MS. L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative de la teneur en eau pour tous les traitements.

3.4. Effet de la salinité sur le rapport de biomasse partie aérienne/partie racinaire

Le rapport de biomasse est un critère important pour l'évaluation de l'effet du stress salin sur les végétaux, ainsi on peut déterminer quelle est la partie la plus sensible et la partie la plus résistante à ce stress. La Figure.04, représente l'évolution de ce rapport PA/PR en fonction des différentes doses de sel. Nous constatons que la variation du rapport PA/PR du traitement à 50 mM est statistiquement semblable à celle du témoin, cependant au-delà des 50 mM, cette variation devient significative avec une valeur de 0.26 pour le traitement à 100 mM, puis nous enregistrons une légère augmentation du rapport pour atteindre 0.31 et 0.29 pour les traitements à 200 et 300 mM.

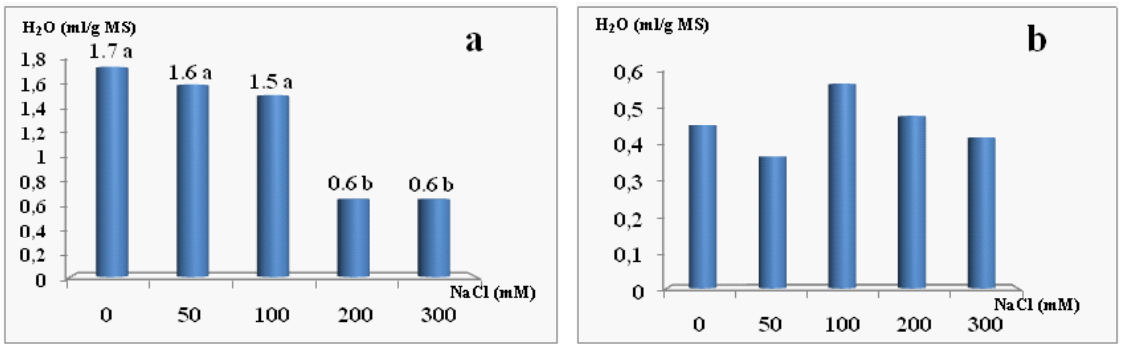

Figure 03 : Impact des différentes concentrations de sel sur l'hydratation des parties aériennes et racinaire de plants d'Acacia albida(les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

3.5. Effet de la salinité sur la teneur en pigments chlorophylliens

Lesrésultats de la variationdes teneurs en chlorophylle a et b ainsi que la chlorophylle totale en fonction des doses de sel appliquées sur les plants d'*Acacia albida* sont rapportés dans les figures 05, 06 et 07.

D'après la figure.05, l'évolution de la teneur en chlorophylle « a » en fonction des différents traitements salins est significative et prend la forme d'une courbe en cloche asymétrique. Nous constatons que la teneur en chlorophylle « a » a augmenté à 8.65 µg/ml avec la dose 50 mM contre 6.23 µg/ml pour le témoin. Au-delà de cette dose, cette teneur diminue jusqu'à la moitié pour atteindre 3.49 µg/ml pour le traitement à 300 mM.

Contrairement à ce qui a été observé pour la chlorophylle « a », les différentes doses de sel appliquées aux plantes d'*Acacia albida* n'ont pas affecté significativement les teneurs en chlorophylle « b ». L'analyse de la variance a révélé que tous les traitements donnent des résultats semblables dont la teneur en chlorophylle « b » varie entre 3.1 et 3.5µg/ml pour l'ensemble des traitements (Fig.06).

La même tendance est observée pour la chlorophylle totale en comparaison avec la chlorophylle « a », où l'évolution de la teneur en chlorophylle, en fonction des différents traitements de sel, prend l'allure d'une courbe en cloche asymétrique (Fig.07). Nous avons enregistré pour le témoin une teneur égale à 9.7 µg/ml. Sous l'effet d'une dose de 50 mM, la teneur a augmenté pour atteindre 12.2 µg/ml. Au-delà de cette dose, la teneur diminue pour atteindre une valeur de 6.9 µg/ml pour le traitement à 300 mM.

3.6. Effet de la salinité sur la teneur en caroténoïdes

L'examen de la figure.08, nous a permet de constater qu'il existe une relation inversement proportionnelle entre la teneur en caroténoïdes des plants d'*Acacia albida* et les différentes doses de sel appliquées. L'analyse de la variance a révélé l'existence de différences significatives entre les teneurs en caroténoïdes en faisant ressortir trois groupes de moyennes homogènes. Le premier groupe est formé du témoin avec une teneur de 2.49 µg/ml. Le deuxième groupe est formé des traitements de 50 et 100 mM avec des teneurs de 1.44 et 1.75 µg/ml, respectivement. Enfin le dernier groupe est constitué des traitements de 200 et 300 mM avec des teneurs de 0.93 et 0.56 µg/ml, respectivement.

2.7.Effet de la salinité sur la teneur en Na^+ et K^+ des parties aérienne et racinaire

- Sodium. Lafigure.09 représente l'évolution de la teneur en Na^+ des parties aérienne et racinaire des plants d'*Acacia albida* en fonction des différentes doses de sel. Nous constatons que pour la partie aérienne, la teneur en sodium augmente en fonction de la salinité et cette augmentation devient significative au-delà des 50 mM pour atteindre des valeurs de 5.49 mg/g MS pour le traitement 300 mM. Cette teneur est sept fois plus importante que celle notée pour le témoin.Concernant les parties racinaires, nous constatons la même tendance où l'évolution de la teneur en Na est proportionnelle à celle de la salinité et cette variabilité devient significative au-delà des 50 mM. Cette teneur devient 16 fois plus importante sous un traitement de 300 mM en comparaison avec le témoin.

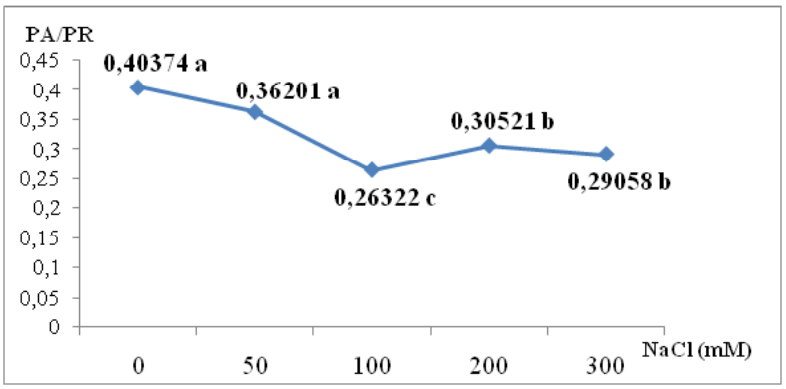

Figure 04 : Effet des différentes doses de sel sur le rapport partie aérienne/partie racinaire des plants d'Acacia albida(les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

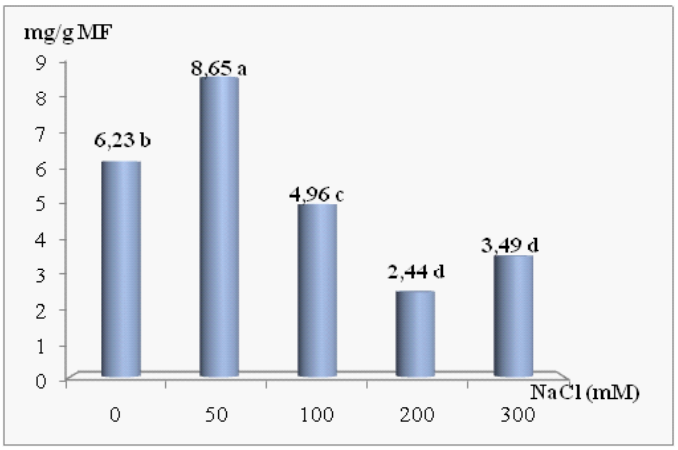

Figure 05 : Impact des différentes concentrations de sel sur la teneur en chlorophylle « a » des plants d'Acacia albida(les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

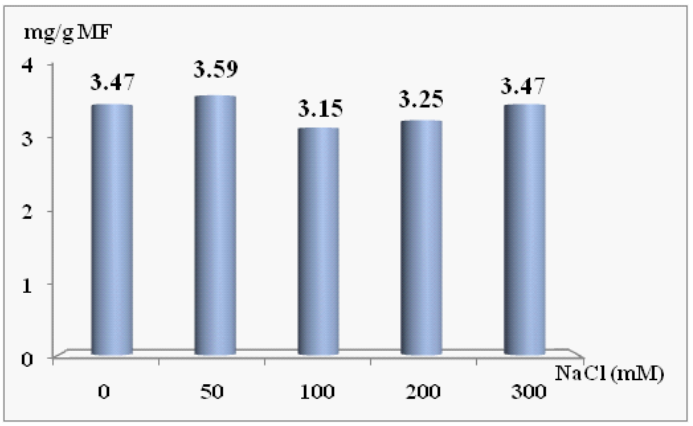

Figure 06 : Impact des différentes concentrations de sel sur la teneur en chlorophylle « b » des plants d'Acacia albida.

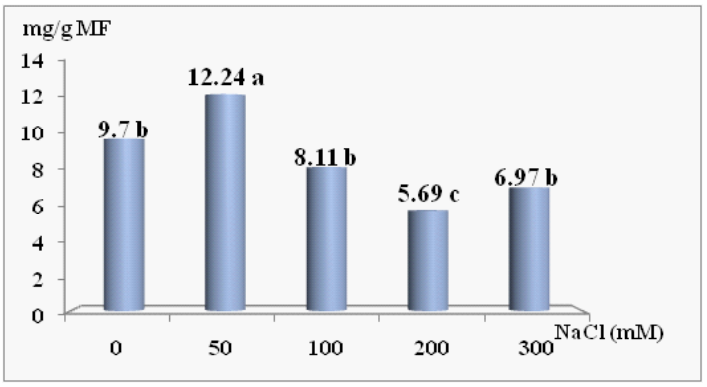

Figure 07 : Impact des différentes concentrations de sel sur la teneur en chlorophylle totale des plants d'Acacia albida(les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

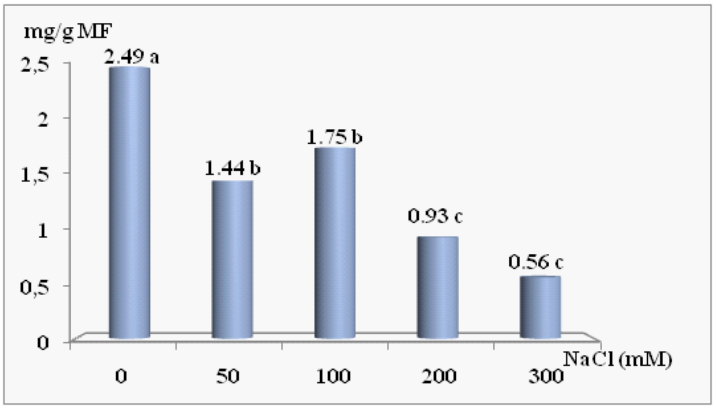

Figure 08 : Impact des différentes concentrations de sel sur la teneur en caroténoïdes des plants d'Acacia albida(les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

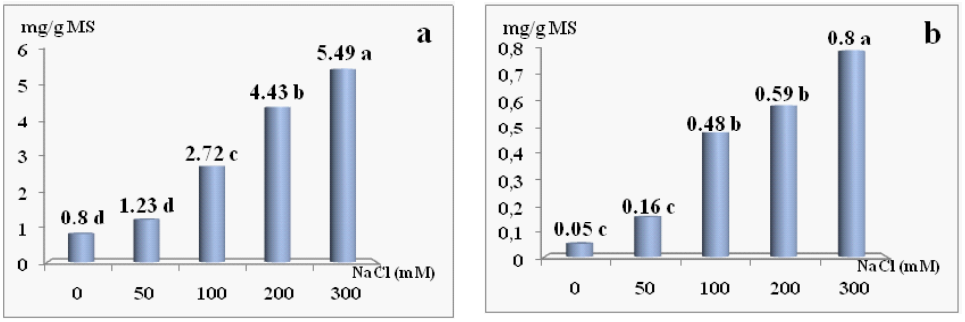

Figure 09 : Variabilité des teneurs en Na (mg/g MS) dans les parties aériennes (a) et racinaires (b) des plants d'Acacia albidaen fonction de la salinité(les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

- Potassium. La figure.10 représente la variabilité des teneurs en K dans les parties aérienne et racinaires des plants d'*Acacia albida* en fonction des différentes doses de sel. Les différentes doses de sel ont un effet significatif sur la teneur en potassium, que ce soit pour les parties aériennes ou les parties racinaires. Selon la figure.10, pour les parties aériennes nous avons enregistré des valeurs allants de 0.55 à 0.85 mg/g MS. L'analyse de la variance a révélé la présence de trois groupes homogènes, le premier est celui du témoin avec une teneur de 0.55 mg/g MS, le deuxième regroupe les traitements à 50 et 100 mM avec une même valeur de 0.75 mg/g MS et enfin le troisième groupe rassemblant les traitements à 200 et 300 mM avec une valeur de 0.85 mg/g MS pour les deux.

Concernant les parties racinaires, nous observons la même tendance qu'avec les parties aériennes où les teneurs en K évoluent proportionnellement avec l'augmentation des concentrations salines. La variabilité est significative pour les traitements à 50 et 100 mM qui enregistrent des valeurs de l'ordre de 0.24 et 0.34 mg/g MS, respectivement. Les traitements 200 et 300 mM enregistrent une teneur identique qui est estimée à 0.55 mg/g MS.

4.DISCUSSION

A travers ce travail nous avons fait ressortir l'impact des différentes doses de sel sur les plants d'*Acacia albida*.

Dans un premier temps, nous avons étudié cet impact sur la croissance en longueur des tiges et des racines avec une évaluation de la teneur en eau et de la biomasse. Dans un deuxième temps, nous avons estimé les teneurs en éléments minéraux (Na et K) et en chlorophylle (a et b) ainsi que la teneur en caroténoïdes.

Les paramètres de la croissance en longueur, de la teneur en eau et de la biomasse sont affectés négativement par les différentes doses de sel appliquées pour les plants d'*Acacia albida*. D'une manière générale, cette influence sur ces paramètres n'est significative qu'au-delà des traitements à 50 mM. Malgré les fortes concentrations appliquées qui atteignent les 300 mM, les plants d'*Acacia albida* continuent à résister à ces doses élevées de sel.

Selon Parida&Das (2005), la production de biomasse est le facteur le plus déterminant de la croissance de la plante. Dans ce sens et pour donner davantage de valeur à nos résultats et évaluer en plus l'impact de la salinité, nous avons déterminé deux facteurs qui sont la croissance moyenne relative (CMR) et l'indice de sensibilité (IS) pour les parties aériennes et racinaires.

La CMR est un paramètre d'analyse qui permet d'étudier l'effet du sel sur la vitesse de croissance des plantes.La figure.11
, montre l'évolution de la CMR en fonction des différentes doses de sel appliquées aux plants d'*Acacia albida*.

Nous constatons que l'effet du sel réduit sensiblement ce paramètre et cette réduction devient significative au-delà du traitement à 50 mM. Pour le traitement 100 mM la CMR est de l'ordre de 0.03 jour-1 soit une réduction de 0.03jour-1 par rapport au témoin (0.06jour-1). Au-delà de 100 mM la CMR reste constante.

Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par Falleh et al. (2012) qui ont travaillé sur l'effet de la salinité sur Mesembryanthemum edule et ont trouvé que la croissance moyenne relative diminue en fonction des différentes doses de sel appliquées aux plantes avec

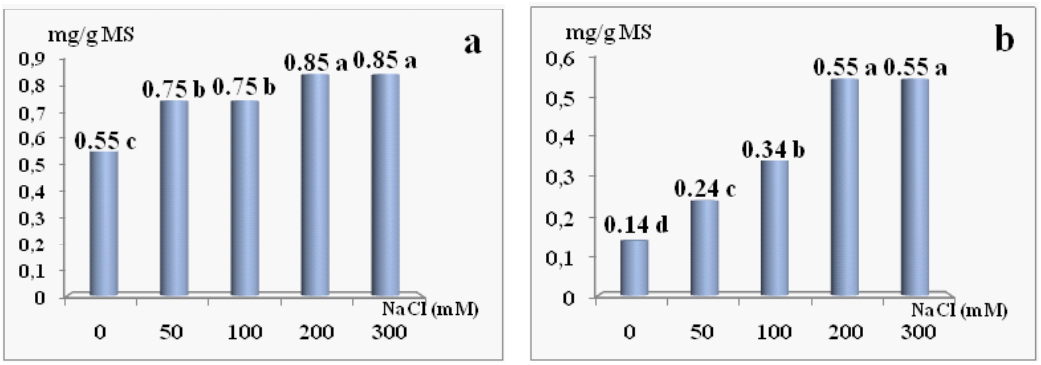

Figure 10 : Variabilité des teneurs en K (mg/g MS) dans les parties aériennes (a) et racinaires (b) des plants d'Acacia albidaen fonction de la salinité.(les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

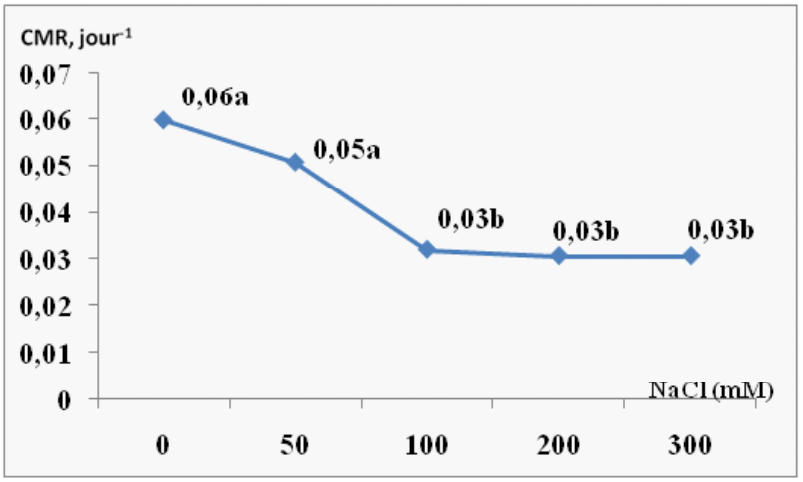

Figure.11. Effet des différentes doses de sel sur la croissance moyenne relative (par jour) des plants d'Acacia albida(Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

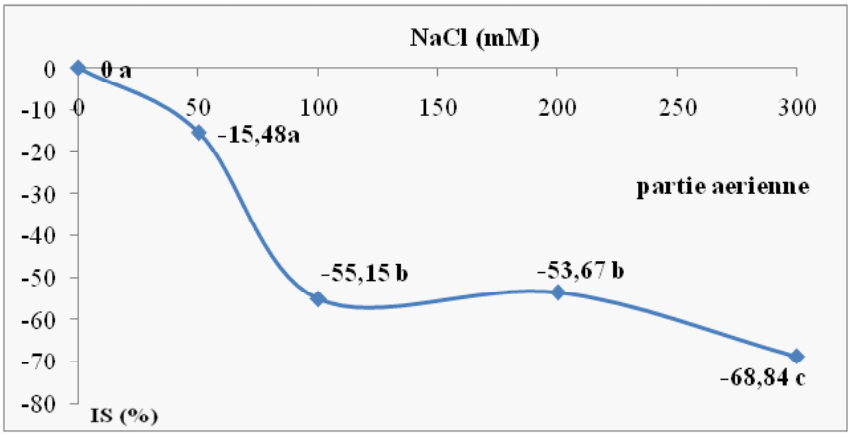

Figure .12. Effet des différentes doses de sel sur l'indice de sensibilité (%) des parties aériennes des plants d'Acacia albida(Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

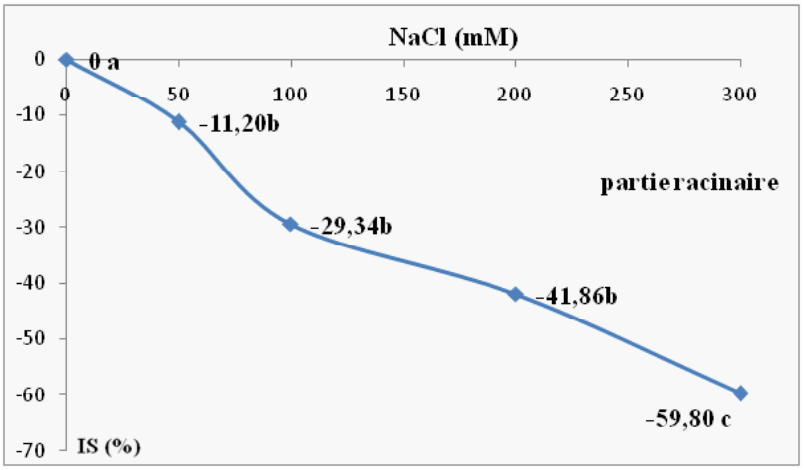

Figure.13. Effet des différentes doses de sel sur l'indice de sensibilité (%) des parties racinaires des plants d'Acacia albida(Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont passignificativement différentes au seuil de 5%).

0.10, 0.07 et 0.07 CMR. jours-1 pour des doses de 0, 300 et 600 mM.

De même pour la CMR, l'indice de sensibilité (SI) nous permet d'évaluer l'effet de la salinité sur l'activité de croissance. Cet indice a été déterminé à la base de la matière sèche produite au niveau des parties aériennes et racinaires (Figures. 12 et 13).

La figure.12 montre que les valeurs de ce paramètre sont négatives pourtous les traitements, impliquant une diminution de la croissance des plants traités par comparaison aux plants témoins. Néanmoins, cette sensibilité au sel ne s'exprime d'une manière significative qu'au-delà du traitementà 50 mM deNaCl. En comparaison avec les plants témoins, nous avons enregistré unindice de sensibilité égale à -55.15 % et -68.84 % respectivement pour les traitements à 100 et 300 mM.

De même pour les parties aériennes, l'indice de sensibilité a été déterminé pour les parties racinaires (Figure.13). La même tendance a été observée, où nous avons enregistré une sensibilité de plus en plus importante qui devient significative au-delà du traitement à 50 mM. Pour les traitements à 100 et 300 mM, nous avons noté un indice de sensibilité égal à -29.34 % et -59.80 %, respectivement.

D'après les valeurs de l'indice de sensibilité enregistrées pour les parties aériennes et racinaires, nous constatons que ces dernières sont moins sensibles au sel que les parties aériennes.

Pour l'indice de sensibilité, nos résultats coïncident avec ceux trouvés par Falleh et al. (2012), qui ont estimé dans les parties aériennes de Mesembryanthemumedule un IS égal à -59.26 % pour une concentration de 300 mM et un IS de -63.77 % pour une concentration de 600 mM. La même tendance a été enregistrée pour les parties racinaires des plantes de la même espèce avec un IS de -60 % et -67.67 % pour les traitements à 300 et 600 mM, respectivement.

Les variations des paramètres morphologiques et physiologiques (longueur des parties aériennes et racinaires, production de la biomasse, teneurs en eau et en chlorophylle) en fonction de la salinité du milieu sont souvent des indicateurs fiables du degré de sensibilité des plantes. En effet, ces paramètres traduisent les effets cumulatifs de l'endommagement et de l'inhibition des fonctions physiologiques de la plante (Gonzalez-Dugo et al. 2009). SelonZid & Grignon (1991) la tolérance au sel s'exprime habituellement en termes de croissance, de rendement ou de survie.

L'un des facteurs que nous avons déterminé est la longueur des parties aériennes et racinaires. Kebebew & Mc Neilly (1995) in Lachaal (1998) utilisentla longueur des racines comme un indicateur fiable de la tolérance au sel.

De même la longueur des parties aériennes peut aussi prédire la tolérance au stress salin (Ashraf et al. 1986 in Lachaal, 1998). La croissance en longueur des parties aériennes diminue en fonction des différentes doses de sel. Des résultats similaires aux notre ont été signalés par Falleh et al. (2012), qui ont noté chez Mesembryanthemum edule, une longueur des plantes témoins de 26.83 cm qui passe à 15.17 et 11.60 cm sous des concentrations salines de 300 et 600 mM, respectivement. La même tendance est observée pour la longueur des racines et ce résultat est confirmé aussi par les travaux de Doudech et al. (2008), qui ont trouvé que la longueur moyenne des racines de boutures de Paspalum notatum passe de 3.31 cm pour le témoin à 2.45 cm sous un traitement de 8 g/l de NaCl.

De même pour la matière sèche et la teneur en eau dans les tissus, leur évolution est inversement proportionnelle à l'augmentation de la salinité. Ces résultats sont confirmés par Koyro (2006) qui a trouvé que la biomasse de Plantago coronopus diminue en fonction de la salinité. La même tendance, concernant la matière sèche, a été trouvée sur plusieurs espèces à savoir : Spartina anglica (Parrondo et al. 1978) et Beta vulgarisssp. Maritima (Niazi, 2007).

Le rapport de biomasse est un critère important pour l'évaluation de l'effet du stress salin sur les végétaux. Ainsi, on peut déterminer quelle est la partie la plus sensible et la partie la plus résistante à ce stress. Dans ce sens, nos résultats ont montré que les parties aériennes sont plus sensibles à la salinité que les parties racines. Ces résultats correspondent avec ceux trouvés par Viégas & Silveira (1999) qui ont signalé chez Anacardium occidentale L. cultivé en milieu salin avec 50 et 100 mM de NaCl en solution nutritive pendant 30 jours, une réduction du poids sec des pousses de 23 à 50 %. La réduction du poids sec des racines n'a été observée qu'à des niveaux plus élevés de NaCl en comparaison avec le témoin.

Pour s'adapter au stress salin, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance (Zhu 2002). C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes; la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour com-

battre le stress avant que le déséquilibreentre l'intérieur et l'extérieur del'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles.

La teneur en chlorophylle est le critère le plus utilisé pour quantifier l'état général de la plante, c'est un excellent bio-indicateur de stress (Tripathi & Tripathi, 1999). Nos résultats ont montré que la teneur en chlorophylle diminue sous l'effet des concentrations croissantes de sel, à l'exception de la concentration 50 mM où nous avons observé une légère augmentation par rapport au témoin pour la chlorophylle « a » et totale.

Selon Naumann et al. (2007), la salinité est connue pour inhiber la photosynthèse chez beaucoupd'espècespar suite de fermeture des stomates, en limitant de cette façon la diffusion du CO2 dans les chloroplastes.

Nos résultats corroborent à ceux obtenus par Koyro (2006) qui a rapporté une diminution de la teneur en chlorophylle chez Plantago coronopus sous l'effet du stress salin et a expliqué que cette diminution est due à une réduction du flux d'électrons à travers le photosystème qui mène à diminuer le risque de photoinhibition. Grattan & Grieve (1994) expliquent aussi que la diminution de la teneur en chlorophylle sous stress salin peut être due au fait que le NaCl a un effet antagoniste sur l'absorption de l'azote qui est une composante essentielle dans la structure de la molécule de chlorophylle.

Nos résultats correspondent parfaitement avec ceux trouvés par Nedjimi (2014) qui a signalé que la diminution de la chlorophylle chez Atriplex canescens ne devient significative qu'au-delà des concentrations modérées. Nos résultats, concernant l'augmentation de la teneur en chlorophylle « a » et totale sous le traitement à 50 mM par rapport au témoin, rejoignent ceux trouvés par Dali et al. (1997), qui ont indiqué qu'une salinité modérée augmente la quantité de la chlorophylle « a » et de la chlorophylle totale.

Concernant la teneur en caroténoïdes des plants d'*Acacia albida*, les résultats ont montré que, par comparaison aux plants témoins, les caroténoïdes diminuent significativement dès 50 mM deNaCl. Cette réduction des teneurs est probablement causée par le stress oxydatif généré par la salinité excessive du milieu (Da Costa et al. 2005). En effet, nos résultats correspondent avec ceux enregistrés par Degl'Innocenti et al. (2009) qui ont trouvé la même tendance chez Hordeum maritimum où ils ont noté que sous l'effet de différentes concentrations salines, la teneur en caroténoïdes passe de 0.17 mg/g MF pour le témoin à 0.11 mg/g MF pour un traitement à 50 mM de NaCl.

La teneur en sodium (Na^+) dans les parties aériennes et racinaires augmente en fonction des différentes doses croissantes de sel, cependant cette accumulation est plus importante dans les parties aériennes que racinaires. Malgré cette forte accumulation en ce cation, la teneur en eau dans les racines n'a pas été influencée. De même pour les parties aériennes, qui jusqu'à des doses de 100 mM, parviennent à maintenir un niveau d'hydratation comparable à celui des plants témoins.

Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Belkheiri & Mulas (2013) qui ont enregistré une accumulation croissante en Na^+ en fonction de la salinité dans les parties aériennes et racinaires d'Atriplex halimus et Atriplex nummularia. La même tendance a été observée chez Lactuca sativa (Ouhibi et al. 2014) et Capsicum annuum (R'him et al.2013).

La même tendance est observée pour le potassium (K^+) où son accumulation est proportionnelle aux différentes doses de sel appliquées aux plants d'*Acacia albida*. La teneur en cet élément est plus importante dans les parties aériennes (0.85 mg/g MS pour le traitement à 300 mM) que celle dans les racines (0.55 mg/g MS pour le traitement à 300 mM). Cependant, en comparant les plus grandes valeurs avec celles des témoins, nous constatons que la salinité stimule l'accumulation du K^+ dans les racines (4 fois) plus que dans les parties aériennes (1.5 fois).

Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par Belkheiri & Mulas (2013) qui ont enregistré une accumulation du K^+ chez Atriplex halimus sous des doses salines allant jusqu'à 1000 mM et chez Atriplex nummularia sous des doses allant jusqu'à 600 mM.

De même, Haouala et al. (2007) ont noté une augmentation dans la teneur en K^+pour le chiendent et le ray-grass sous l'effet de la salinité. Chez le chiendentla teneur foliaire en K^+ pour le témoin était de 0.41 méq.g-1MS, celle des racines étaitde 0.33 méq.g-1MS. En présence de NaCl, les teneurs en ce cation augmentent dans les feuilles et les racines pour atteindre respectivement 0.58 et 0.54 méq.g-1MS. De même chez le ray-grass, la salinité fait augmenter ces teneurs dans les feuilles et les racines qui passent respectivement de 0.10 et 0.35 méq.g-1MS pour le témoin à 0.17 et 0.44 méq.g-1MS sous un traitement salin.

Selon Grattan et Grieve (1999), la salinité peut affecter le niveau d'absorption du potassium en fonction de l'espèce et du seuil de salinité. En effet, le Na^+ peut avoir un effet toxique direct quand il interfère comme cofacteur avec les différentes réactions et fonctions du K^+. L'efficacité d'absorption et d'utilisation du K^+, qui agit comme osmoticum, est donc capitale dans l'adaptation au stress salin. Hamrouni et al. (2011) ont rapporté que les génotypes de piment tolérants au sel accumulent moins de Na^+ dans les feuilles que les génotypes sensibles. Ces études indiquent que les génotypes ayant la capacité d'exclure Na^+ sont généralement plus tolérants à la salinité.

Dans un milieu salé, les quantités des ions Na^+dépassent largement celles de K^+. Vu le rôle important du potassium dans la croissance et le développement des plantes, ces dernières doivent maintenir une sélectivité K^+/Na^+. L'étude du rapport K^+/Na^+ permet de comparer l'aptitude des plantes à maintenir une absorption sélective de K^+aux dépens de Na^+. Cette sélectivité a été estimée en comparant les rapports K^+/Na^+, calculés dans les parties aériennes et racinaires et représentés respectivement dans les figures 14 et 15.

Chez les végétaux, le maintien d'une bonne sélectivité K^+/Na^+dans les tissus peut être considéré comme un critère de tolérance à la salinité (Parida & Das, 2005). D'ailleurs, un rapport élevé de K^+/Na^+dans le cytosol est essentiel pour les fonctions cellulaires normales des plantes. Dans notre expérimentation, bien que la teneur en K^+ augmente en fonction de la salinité croissante, le rapport K^+/Na^+ diminue. Cela signifie que l'accumulation du Na^+ et plus importante que l'accumulation du K^+ dans les parties aériennes et racinaires et le rapport K^+/Na^+ indique qu'il n'existe pas de sélectivité en faveur du K^+ au dépens du Na^+. Nos résultats correspondent à ceux obtenus par Belkheiri & Mulas (2013); Degl'Innocenti (2009) ; R'him et al. (2013); qui ont tous noté une diminution du rapport de sélectivité K^+/Na^+en fonction de la salinité croissante. Selon Belkheiri & Mulas (2013) les deux éléments K^+ et Na^+ sont en continuelle compétition dans les conditions salines, cependant le Na^+peut, à un certain degré, remplacer le K^+ surtout dans sa fonction autant qu'osmoticum dans la vacuole.

Flowers et al. (1986) ont aussi indiqué que chez certaines plantes, le Na^+ peut jouer un rôle dans l'ajustement osmotique à la place du K^+ pour leur permettre de continuer à s'accroitre. L'ampleur à laquelle le Na^+ peut remplacer le K^+ varie en fonction del'espèce, de la variété, et même de l'âge des feuilles d'une même plante, tout en notant que les plus jeunes feuilles comptent plus sur K^+ que les feuilles âgées. La diminution du rapport de sélectivité K^+/Na^+ peut être expliqué aussi par le fait qu'en présence des concentrations élevées de NaCl, Na^+ déplace Ca^{2+} du plasmalemme des cellules racinaires, ce qui entraine l'augmentation de la perméabilité de la membrane etprovoque un efflux du K^+et une altération du rapport de sélectivité K^+/Na^+ (Cramer et al. 1985).

5. CONCLUSION

A travers ce travail nous avons étudié l'impact du stress salin sur la réponse morphologique, physiologique et biochimique des plants d'*Acacia albida*. Les résultats du rapport partie aérienne/partie racinaire ainsi que l'indice de sensibilité ont montré que l'influence négative de la salinité est plus marquée sur la croissance des parties aériennes que racinaires. Cependant, les plants parviennent à se développer sous des doses de NaCl allant jusqu'à 300 mM. La déshydratation des tissus n'a commencé à être significative qu'au-delà d'une concentration de 100 mM. La salinité modérée qui ne dépasse pas les 50 mM peut stimuler l'accumulation de la chlorophylle. Il est aussi à noter que les doses croissantes de NaCl font augmenter l'accumulation du Na^+ plus que le K^+ ce qui a conduit à une diminution du rapport de sélectivité K^+/Na^+.

Références bibliographiques

Abdel Latef AA (2010) Changes of antioxidative enzymes in salinity tolerance among different wheat cultivars. Cereal Res. Comm 38: 43-55.

Arnon DI(1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiol 24: 1-1.

Belkheiri O, Mulas M (2013) The effects of salt stress on growth, water relation and ion accumulation in two halophyte Atriplex species. Environmental and Experimentation Botany 86: 17-28.

Benmahioul B, Daguin F, Kaid-Harche M (2009) Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (Pistaciavera L.). Comptes Rendus Biologies 332 (8) : 752-758.

Cornillon P, Palloix A (1997) Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of Pepper cultivars. J. Plant. Nutr 20: 1085-1094.

Cramer GR, Lauchli A, Polito VS (1985) Displacement of Ca^{2+} by Na^+ from the plasmalema of root cells. A primary response to salt stress. Plant Physiol

79: 207-211.

Da Costa KA, Gaffney CE, Fischer LM, Zeisel SH (2005) Choline deficiency in mice and humans is associated with increased plasma homocysteine concentration after a methionine load. Am J Clin Nutr 81 : 440-444.

Dali N, Ben Ghanem H, Mougou A, Ben Taeib T(1997) Effet d'un stress salin sur la répartition entre amidon et sucres solubles dans les feuilles de deux lignées de tomate. Revue de l'INAT, Journal des Sciences Agronomiques 12 (1) : 131- 147.

Degl'Innocenti E, Hafsi C, Guidi L, Navari-Izzo F (2009) The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. Journal of Plant Physiology 166 (18) : 1968-1981.

Doudech N, Mhamdi M, Bettaieb T, Denden M (2008) Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon: Paspalum notatum Flüggé. Tropicultura 26(3) : 182-185.

Falleh H, Jalleli I, Ksouri R, Boulaaba M, Guyot S, Magné C,& AbdellyC (2012) Effect of salt treatment on phenolic compounds and antioxidant activity of two Mesembryanthemum edule provenances. Plant Physiology and Biochemistry 52 : 1-8.

Flowers TJ, Yeo AR (1986) Ion relations of plants under drought and salinity. Australian Journal of Plant Physiology 13: 75-91.

Ghassemi F, Jakeman AJ, Nix HA (1995) Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. Walling ford, Oxon, UK.

Gonzalez-Dugo V, Durand JL, Gastal F (2009) Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. Agron.Sustain.Dev 30 : 529–544.

Grattan SR, Grieve CM (1999) Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. Sci. Hortic 78 : 127-157.

Grattan SR, Grieve CM (1994) Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York, pp. 203–226.

Haouala F, Ferjani H, Ben El Hadj S (2007) Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+, K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnol. Agron. Soc. Environ 11(3) : 235-244.

Hamrouni L, Hanana M, Abdelly C, Ghorbel A (2011) Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : deux mécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage vitisviniferasubsp.sylvestris (var.'sejnène') Bitechnol. Agronom. Soc. Environ 15 (3): 387-400.

Koyro HW (2006) Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte Plantago coronopus (L.). Environmental and Experimental Botany 56 (2) : 136-146.

Lachaal M (1998) Variabilité de la réponse à la salinité chez la lentille, et variation en fonction du stade de développement. Thèse de doctorat. Université de Tunis II. Faculté des sciences de Tunis.

Lichtenthaler HK (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods Enzymol 148: 350-382.

Mermoud A (2006) Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecolepolytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.

Munns R, Tester M (2008) Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol 59 : 651-681.

Munns R, Schatman DP, Condon AG (1995) The significance of a two- phase growth reponse to salinity in wheat and barely. Aust. J. Plant Physiol 22: 561-569.

Munns R, Termaat A (1986) Whole-plant responses to salinity. Aust. J. Plant Physiol 13:143-160.

Nedjimi B (2014) Effects of salinity on growth, membrane permeability and root hydraulic conductivity in three saltbush species. Biochemical Systematics and Ecology 52 : 4-13.

Niazi BH (2007) The response of fodder beet to salinity. Introduction of a non-conventional fodder crop to salt affected fields in Pakistan. PhD Thesis ISBN 978-969-409-188-4.

Ouhibi C, Attia H, Rebah F, Msilini N, Chebbi M, Aarrouf J, Urban L, Lachaal M (2014) Salt stress mitigation by seed priming with UV-C in lettuce plants: Growth, antioxidant activity and phenolic compounds. Plant Physiology and Biochemistry 83 : 126-133.

Parida AK, Das AB (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: A. Rev. Ecotoxicol. environ. Saf 60: 324-349.

Parrondo RT, Gosselink JG, Hopkinson CS (1978) Effects of salinity and drainage on the growth of three salt marsh grasses. Botanical Gazette 139: 102–107.

R'him T, Tlili I, Hnan I, Ilahy R, Benali A, Jebari H (2013) Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de piment. Journal of Applied Biosciences 66: 5060-5069.

Rhodes J, Laveday J (1990) Salinity in irrigated agriculture riverside. USDA: 1089-1141.

Shannon MC, Grieve CM (1999) Tolerance of vegetable crops to salinity. Sci. Hortic 78 : 5-38.

Sheng M, Tang M, Chan H, Yang B, Zhang F, Huang Y (2008) Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. Mycorrhiza 18 : 287–296.

Tripathi AK, Tripathi S (1999) Change in some physiological and biochemical characters in Albizialebbek as bioindicateurs of heavy metal toxicity .J. Environ.Biol 20(2) :93-98.

Viégas RA, Silveira JA (1999) Ammonia assimilation and prolin accumulation in young cashew plant during longterm escposure to nall-salinity. Revistabrasileira de fisiologia vegetal 11 (3) : 153-159.

Villa-Castorena M, Ulery AL, Catalan-Valencia EA, Remmenga MD (2003) Salinity and nitrogen rate effects on the growth and yield of Chile pepper plants. Soil.Sci. Soc. Am. J 67 : 1781-1789.

Wang WX, Vinocur B, Shoseyov O, Altman A (2001) Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. Acta Hort 560: 285-292.

Zhu JK (2002) Salt and drought stress signal transduction in plants. Ann. Rev. Plant Biol 53 : 247-273.

Zid E, Grignon C(1991) Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELF-UREF. Jon LibbeyEurotext, Paris, 91-108.